

Talaj- és RHIZO-biológiai tulajdonságok DINAMIKája és befolyásolhatósága stressz-körülmények között

OTKA kutatási téma zárójelentése

A munka kezdete és befejezése : 2004-2007

ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj-növény-mikroba-klimatikus rendszerekben fellelhet dinamikát, az él (biotikus) és az élettelen (abiotikus) környezeti (stressz) körülmények között létrejövő törvényszerűségeket vizsgáltuk. Különböző gazdanövények bevonásával a növényi gyökérrendszerben (rhizoszférában) a növekedésre pozitívan ható (mikroszimbiota) nitrogén-kötő és a foszfor-(mikroelem)felvételt segítő baktériumok és gombák kolonizációját és aktivitását havonként, szezonálisan, és évenkénti dinamikában is vizsgáltuk. Háttérként tenyészedény-kísérletek és olyan ökoszisztémák szolgáltak, ahol i) *egyszeres vagy kombinált*, ii) *rövid-idejű vagy tartamhatású*, iii) *természetes vagy mesterséges* stressz-tényezők domináltak. Izolált törzsekkel laboratóriumi kísérleteket is folytattunk az adaptáció mértékének a tanulmányozására. Az eredményekből a hasznos mikroszervezetekkel történő mikrobiális oltások irányított, alkalmazási szempontjaira kívántunk következtetni.

Az *egyszeres és kombinált stressz* tanulmányozása tenyészedényes és kiscellás tartamhatás-kísérletekben történt. Az egyszeri nehézfém-dózisok és a kommunális vagy ipari szennyvíziszapokkal való kombinációk hatását négy egymást követő évig követtük nyomon. Összefüggést állapítottunk meg a hatóidő (rövid- vagy hosszú) és a kitettség (dózisok mértéke), valamint a mikroorganizmusok adaptációjának a talaj-függéskörnyezet között. Az élelmiszer-minőség- és biztonság szempontjából figyelt kórokozók környezeti érzékenységek miatt évjáratban nem akkumulálódtak. A talaj eredeti (abundáns) mikroszimbiota populációjának az aktivitása mesterséges oltás nélkül, csak a szervesanyag-kiegészítéssel is fokozható, ezáltal a nehézfém-toxikusság is csökken, a termékenység, különösen az alacsony humusz-tartalmú homoktalajoknál pedig nő.

A *rövid-idejű, nagy adagú* kiadagolás ellentétben a *lassú, fokozatos, tartamhatású* alkalmazással a hasznos baktériumok adaptációjának a lehetőséget csökkenteni, az érzékenységet nehézfém-függő módon fokozni képes, erős szelekciós tényező. A makroszimbiota gazdanövények érzékenysége között, de a hazai jellegzetes talajok szimbiotás-fogékonysága között is lényeges különbségeket tudunk kimutatni.

A *„természetes” és mesterséges abiotikus stressztényezők* hatását szabadföldi és *in vitro* körülmények között tanulmányoztuk, a só- és a szárazság-stressz bevonásával. Szikes területeken, ötször (halofita) növény mikorrhiza kolonizációjának havonkénti mintázásával a kolonizációnak általában a mérsékelt éghajlatra jellemző szabályos, szezonális ritmusát állapítottuk meg. A jellegzetes halofita növények mikroszimbiota fogékonysága is különböző mértékű, ami különösen a többszörös környezeti stressz (szikesség + szárazság) hatására fokozódik. A hasznos mikroszimbiota gombákkal így kialakult kolonizáció és a mikorizáció képessége erősödése a kompetíciót nem, de a kedvezőtlen időjárási körülmények elviselését javítani képes. Osztott-gyökerező vizsgálatokkal igazoltuk a növény-mikroba közötti, a stressz-körülményektől függő jelátadási képességet.

A mikroszimbiota baktériumok és gombák a környezeti állapotot és a növényi stressz-toleranciát is megfelelő módon jelezni, indikálni képesek. A mikroszimbiotákkal történő kolonizáció fokozása a környezeti stressz kivédésének egy alkalmas eszköze. A hasznos mikrobiális oltások szükségességének a megállapítása, a kedvező szimbiózis mesterséges kialakításának a lehetősége „el monitoring” segítségével fokozható.

VIZSGÁLATI HÁTTÉR, ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Nehézfémek tartam-hatásának vizsgálata a növény-mikróba kapcsolat alakulására:

Összefüggéseket kerestünk tartamhatásban, az 1991-ben kiadagolt 13 nehézfém különböző koncentrációi és a növényi gyökérrendszer bizonyos mikrobiológiai aktivitásai között. Ehhez a Nagyhorcsói Kísérleti Állomás karbonátos csernozjom talaján beállított tartamhatású nehézfém-kezeléses kísérlet szolgált háttérként. A kiadagolt 13 nehézfém (Al, As, Ba, Cr, Cu, Hg, Cd, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) 3 különböző dózist (90, 270, 810 kg/ha) vizsgáltuk tenyészedeny-kísérletben (2006), vagy szabadföldi körülmények között (2005). A tenyészedeny-kísérlet során a területre 1 származó talajokat szárítottuk, homogenizáltuk és 500 g-os edényekbe töltöttük 3-3 ismétlésben. A helyszíni *in situ* vizsgálatok során az eredeti 21 m²-es parcellákat mintáztuk. Tesztnövényként egyszik árpa és kétszik fehérhere növényeket vetettünk tenyészedenyekbe, vagy a szabadföldi lucerna növényeket mintáztuk. A kikelő növényeket 2-3 hetente bonitáltuk, majd bontáskor a biomassza száraz súlyát mértük.

Vizsgáltuk az arbuszkuláris mikorrhiza gombák (AMF) kolonizációját a növényi gyökérrendszerben. Ehhez a gyökerekre 10,5 g átlagmintát 75% -os alkoholban tároltunk, majd feldolgozáskor KOH-os fészes után anilinkékkel festettük. A mikorrhizáció alakulását 30-30 db, 1 cm-es nagyságú gyökérszegmensen mikroszkópos megfigyeléssel ellenőriztük. A mikorrhizáció intenzitásának (M%) értékelése mellett a gomba növény közötti m köd képességgel egyenesen arányos arbuszkulum gazdagságot (A%) is értékeltük. A nitrogén-kötő gümösítés értékelése bonitálással történt.

A szikes talajok fizika-kémiai és biológiai paramétereinek közötti összefüggések vizsgálata:

Domináns sziki növények (5 jellegzetes halofita) rhizoszférájából talaj és gyökérminták analízise történt meg négy mintavételi területen a talajtulajdonságok és a rhizoszféra mikrobák abundanciája közötti összefüggések meghatározása céljából. A talajbiológiai tulajdonságok mellett (mikorrhizációs kolonizáció és a kitenyészthető csíraszámok) a szikességet leíró legfontosabb talajtulajdonságok kerültek meghatározásra. Az adatsorokat lineáris regresszióknak vetettük alá, majd a meglévő szignifikáns korrelációkat értelmeztük.

A természetes, tartamhatású stressz mikroszimbiontás hatásának rendszeres monitorozása:

A Kiskunsági Nemzeti Park területén két domináns sziki növény (*Aster tripolium* és *Puccinellia limosa*) rhizoszférájából gyűjtöttünk talaj-, illetve gyökérmintákat, két mintavételi helyen (Apajpuszta és Zabszék) kalcium-karbonátos szikes területen. Két vegetációs periódus során havonkénti rendszerességgel ellenőriztük az arbuszkuláris mikorrhiza gombák (AMF) kolonizációját (Trouvelot et al. 1986), valamint időszakonként (május, július és szeptember) a legfontosabb kitenyészthető mikrobacsoportok (heterotrof és oligotrof csíraszám, mikroszkopikus gombák és *Pseudomonas* baktériumok) gyökérfelszíni abundanciáját is módosított, talajhigításos, szelektív táplemez eljárással (Angerer et al. 1998).

A rhizoszféra dinamikájának vizsgálata szennyvíziszappal kezelt kukorica növényekben:

A rhizoszféra összetételének változását (dinamikáját) tenyészedenyes kísérleti háttérben, tartamhatásban különböző adagú kommunális szennyvíziszapot kapott kezelésekben követtük nyomon kukorica jelző növényekkel. A növényi rhizoszféra mikroorganizmusainak legfontosabb csoportjait (r, k, l strategisták, mikroszkopikus gombák) tenyésztettük ki, illetve a mikorrhizációs kolonizációt értékeltük hetenkénti mintavételezéssel. A talajbióta és a gazdanövény katabolikus aktivitását, azaz a CO₂-kibocsátás mértékét, a gázcsere (illetve a gázfázis összetételét) quadrupol tömeg-spektrométerrel folyamatosan

regisztráltuk, a napi (cirkadián) és a heti, vagy élettani, vegetációs dinamika értékelése céljából.

Szennyvíziszapok hatásának vizsgálata az élelmiszer-biztonság kérdéseire:

A talaj-termékenységet az állati trágyák mellett alternatív (hulladékok felhasználásával készített) szerves anyagokkal is pótolhatjuk (Biró 2006, előadás, Technical University, Zvolen). A mezőgazdasági és kommunális hulladékok alkalmazási esélyét azonban számos potenciális patogén kórokozó is akadályozza. Az ilyen, az élelmiszerbiztonságot- és minőséget veszélyeztető mikrobák jelenlétét és eliminációjának mértékét szennyvíziszap-kezelte reprezentatív hazai talajokban vizsgáltuk. A szokásos kitenyészthető mikroorganizmusok száma mellett a potenciális patogéneket is kitenyészítettük, így a *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, coliform, *Clostridium* sp. és *Enterobacter* sp. mikroorganizmusokat. Európai Unió kutatási háttér (EU-kp6 HOR-HYG project) és kiegészítő OTKA támogatás (EN 64310) segítségével 16 EU laboratóriumtól és az Észak-Pesti Csatornázási Művektől származó különböző (nyers, rothasztott, kondicionált, komposztált...stb.) szennyvíziszap-mintákkal dolgoztunk, és ezeket a módszertani fejlesztés validálási időszak alatt hetenkénti rendszerességgel vizsgáltuk. Kontrollként a Francia Pasteur Intézet (Lille) autentikus törzseit használtuk. Az eljárásokat (szűrést, legvalószínűbb szám -MPN és „mikroplate”) az „előzetes Európai Normatívák” (prEN) szerint folytattuk le (*E. coli*: prEN 15214-1, -2, -3; *Salmonella* sp: prEN 15215-1, -2 és -3). Az összehasonlító matematikai-statisztikai analízis után új, szabványosított, a leginkább és legbiztonságosabb eredményeket adó eljárások kerülnek rövid időn belül bevezetésre.

A nehézfémekhez való adaptáció mértékének tanulmányozása *Rhizobium* baktériumokkal:

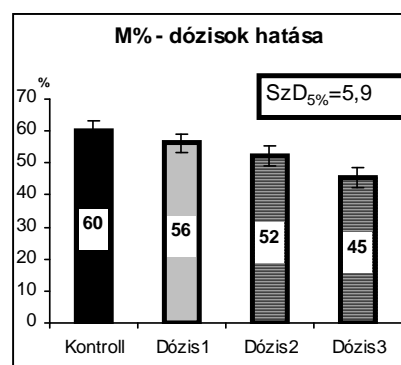
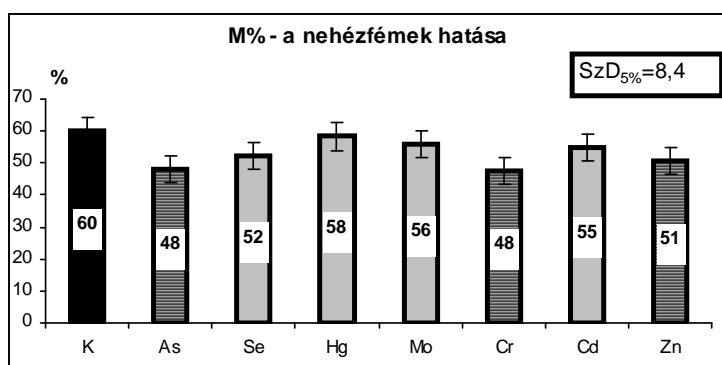
A nehézfém-tolerancia képesség a kitettség mértéke szerint egy adott fémmel szemben fokozatosan alakulhat ki. Feltételeztük, hogy tartamhatásban ez a környezeti stressz folyamatosan megvalósuló szelekciós tényező a mikroorganizmusok között. Ha a hatóidő rövidül, az ilyen lassú, fokozatos adaptációra kevesebb idő áll rendelkezésre. Hogyan módosul ez a tulajdonság „populációs” szinten a fémkitettség mértéke (dózisfüggés) szerint?

Ilyen megfontolásból különböző mértékben fémadaptált és nem adaptált, kontroll *Rhizobium* törzsekkel laboratóriumi körülmények között ellenőriztük a fémtolerancia-képesség alakulását. A törzsek egy tenyészedényes, modellkísérletből származtak, amelyben borsó (*Pisum sativum* L.) növények nőttek és a gyökérrendszerükben fellelhető gumók izoláltuk a tiszta *Rhizobium* baktérium törzseket. Az edények kétféle (kommunális és ipari) szennyvíziszap különböző adagjaival (0, 2,5, 5, 10 és 20 mg•kg⁻¹, ami megfelel 0, 7,5, 15, 30 és 60 t•ha⁻¹ rendszeres mezőgazdasági alkalmazásnak) lettek évente kezelve, négy hazai jellegzetes talajtípus bevonásával, négy egymást-követő éven át. A borsó-*Rhizobium* szimbiózis mértékét, a növényi biotassza és a nehézfém-felvétel alakulását ellenőriztük a feldúsuló humusz-anyagok és a nehézfémek függvényében. Az alkalmazott iszapadagokkal 4 év leforgása alatt valószínűsítettük meg a jelenlegi gyakorlat szerinti 16 évig tartó kihelyezést és nehézfém-felhalmozódást. A tartam-kísérlet 2. és 4. évében gyökérgumó-baktériumokat izoláltunk és tisztítottunk, majd ellenőriztük azok Cr (37,5, 75, 150, 300 mg•kg⁻¹) és Zn (45, 90, 180, 360, 720 mg•kg⁻¹) érzékenységét rázatásos, mikrofermentoros kitenyésztesssel folyékony élesztő kivonat-mannit (YEM) táptalajban *in vitro*. A szaporodás mértékét módosított határhígításos módszerrel ellenőriztük, ahol a telepkepzési egységek számát 48 órás inkubáció után kitenyészítettük, majd a kapott sejtszámok log-transzformált értékeit statisztikailag kiértékeljük. Összefüggéseket kerestünk a törzsek nehézfém-érzékenysége és adaptációs ideje, valamint a szennyvíziszap fajtája, ill. a talajtípus befolyásoló hatása és a fémkitettség mértéke között.

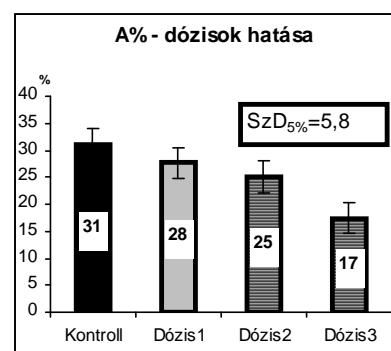
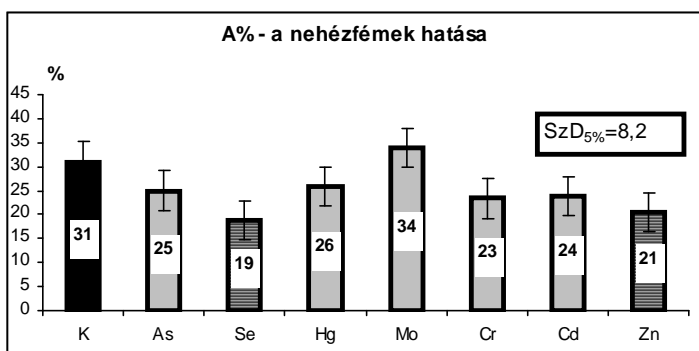
EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

1. A tartamhatású nehézfém-stressz hatása a mikroszimbiontás kolonizációra különböző gazdanövényekkel

Az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén 1991 -ben beállított tartamhatású kísérleti háttér áll rendelkezésünkre. Ennek, 21 m²-es parcelláit 13 nehézfém négy különböző (0, 30, 90, 270 és 810 mg.kg⁻¹) dózisával szennyezték. A fémhatásokat évenként különböző gazdanövények bevonásával ellen rzik. 2005 -ben gazdanövényként egy pillangóst, a lucernát (*Medicago sativa*) vetették, így lehet ség adódott a szimbionta kolonizáció vizsgálatára. További gazdanövényeken, így a pillangós fehérherén (*Trifolium repens* L.), és az egyszik árpán (*Hordeum vulgare* L.) ugyanazoknak a fémeknek a hatását tenyészedény -kísérletben ellen rztük. **Az 1. és a 2. ábrák** a lucerna fém-típus és dózis-függ összesített hatását mutatják a mikorrhiza gomba (AMF) infekciójának intenzitására (M%), valamint további gomba-paraméterként az arbuszkulum gazdagság mértékére is.



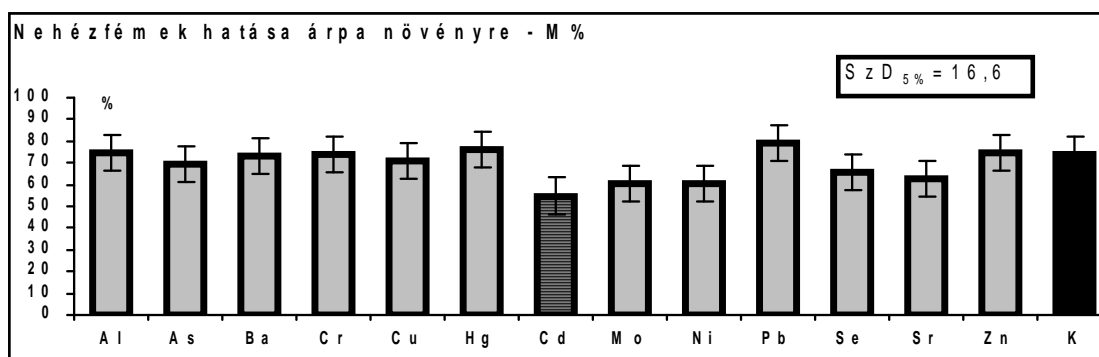
1. ábra: A mikorrhiza gombák infekciójának intenzitása (M%) 14-évi tartamhatású nehézfémek (As, Se, Hg, Mo, Cr, Cd és Zn) és dózisaik (0, 30, 90, 270 mg.kg⁻¹sz. talaj) hatására lucerna (*Medicago sativa*) gyökérrendszerében szabaföldi kísérletben (Nagyhorcsök, 2005). Megjegyzés: a vízszintes sraffozás szignifikáns különbséget jelöl.



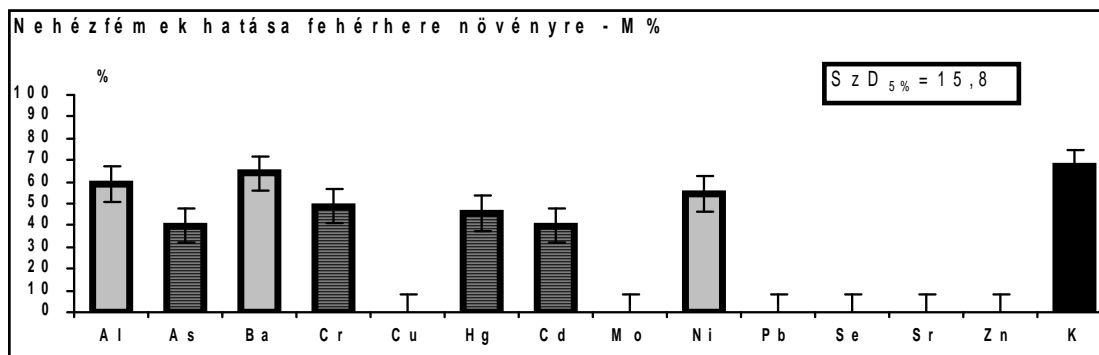
2. ábra: A mikorrhizás arbuszkulum gazdagság (A%) alakulása 14-évi tartamhatású nehézfémek (As, Se, Hg, Mo, Cr, Cd és Zn) és dózisaik (0, 30, 90, 270 mg.kg⁻¹sz. talaj) hatására lucerna (*Medicago sativa*) gyökérrendszerében, szabaföldi kísérletben (Nagyhorcsök, 2005). Megjegyzés: a vízszintes sraffozás szignifikáns különbséget jelöl.

A mikorrhiza gomba gyökéren belüli infekciójának az intenzitására különösen az As, a Cr és a Zn negatív hatása volt kimutatható. A gomba m köd képességét, azaz az arbuszkulumok mennyiségét (A%) a Se és a Zn csökkentették szignifikánsan. Megállapítható tehát, hogy egyazon mikroba, az arbuszkuláris mikorrhiza gomba különböző vizsgált tulajdonságának az érzékenysége is különbözhet ugyanazokra a nehézfémekre. A fémek összesített hatásának dózisfügg értékelése szerint a mikorrhizációra minden vizsgált körülménynél ugyanakkor a legnagyobb, 90- és a 270 mg.kg⁻¹ sz. talaj dózisok hatottak negatívan.

Az el z kísérletben bemutatott, nehézfémekkel szennyezett talajokkal tenyészedényes kísérletet végeztünk két további gazdanövény bevonásával. A kísérlet eredményeit, azaz az arbuszkuláris mikorrhiza gombák infekciójának intenzitását a gyökérrendszeren belül a **3. és 4. ábrák** mutatják be:



3. ábra: A mikorrhiza gombák infekciójának intenzitása (M%) 14-évi tartamhatású nehézfémek (As, Se, Hg, Mo, Cr, Cd és Zn) és dózisaik (0, 30, 90, 270 mg.kg⁻¹sz. talaj) hatására árpa (*Hordeum vulgare*) gyökérrendszerében tenyészedény-kísérletben (Budapest, 2006). Megjegyzés: a vízszintes sraffozás szignifikáns különbséget jelöl.



4. ábra: A mikorrhiza gombák infekciójának intenzitása (M%) 14-évi tartamhatású nehézfémek (As, Se, Hg, Mo, Cr, Cd és Zn) és dózisaik (0, 30, 90, 270 mg.kg⁻¹sz. talaj) hatására fehérhere (*Trifolium repens*) gyökérrendszerében tenyészedény-kísérletben (Budapest, 2006). Megjegyzés: a vízszintes sraffozás szignifikáns különbséget jelöl.

Az ábrákon a 13 vizsgált nehézfém hatását mutatjuk be a kontroll I kezeléshez viszonyítva, a különböző dózisok hatásának átlagát ábrázoltuk (K - kontroll, vízszintes sraffozás - szignifikáns csökkenés).

Az 1. fejezet eredményeinek összefoglalása:

Az el z , lucernával szabadföldön kivitelezett vizsgálatlál összevetve fehérhere növényen a Zn, Cr, As, Se negatív hatása a mikorrhizációs kolonizációra (és a növényi biomasszára egyaránt – nem ábrázolt eredmények) kimutatható, de ezek mellett a Hg, Mo, Cd is csökkentették a kolonizáció mértékét, valamint az el z vizsgálat során technikai nehézségek miatt nem tanulmányozott As, Cu, Pb és Sr is. Ugyanilyen körülmények között ugyanakkor az árpa növényen mindössze a Cd negatív hatását lehetett kimutatni.

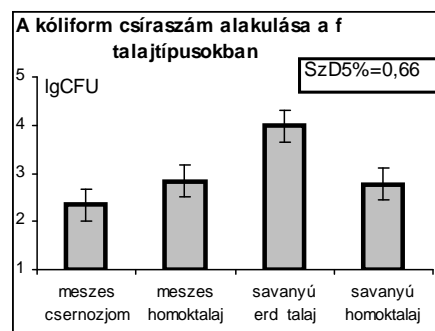
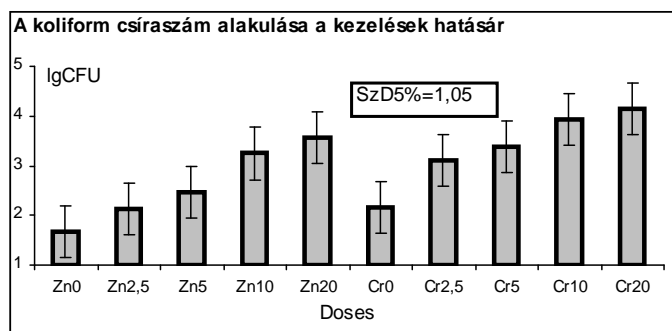
Szemben tehát a gazdanövények er s befolyásoló hatása a mikorrhiza szimbiózis alakulására nehézfém-szennyezett körülmények között. Ilyen szempontból a legérzékenyebbnek a fehérhere-mikorrhiza szimbiózis mutatkozott, míg az árpa-mikorrhiza kapcsolat az alkalmazott nehézfém-típusokra szinte egyáltalán nem volt érzékeny, a növekvő nehézfém-dózisokra is kevésbé reagált negatívan (adatokat itt nem mutatunk be).

2. A tartamhatású szennyvíziszap-adagolás hatása az élelmiszerbiztonság szempontjából kiemelt mikroorganizmusokra és a mikroszimbiontákra

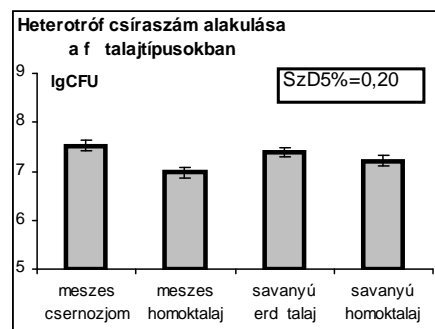
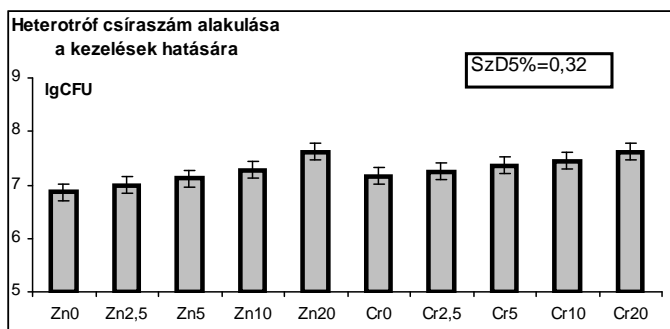
Az élelmiszerbiztonság kérdései kommunális eredet hulladékoknak a talajokba adagolásánál, különösen annak rendszeressége esetén különösen kiemelt, figyelembe veendő szempontok. A TAKI tenyészedényes kísérletében ezért az ún. „potenciális patogén” mikrobák abundanciáját is ellenőriztük a i) a szennyvíziszap-típusok, ii) azok növekvő dózisaival és iii) az ismételt adagolás (évjáráthatás, akkumuláció) függvényében. Ezekkel párhuzamosan a szennyvíziszapokkal kijuttatott összmikrobás aktivitást (heterotróf csíraszámot) is ellenőriztük, valamint a hasznos, mikroszimbiontás aktivitás alakulását is.

Az 1. fejezetben a Zn és a Cr kedvezőtlen hatását már kimutattuk a mikorrhizációs kolonizáció alakulására. A tenyészedényes jelenlegi körülmények között az egyedi nehézfém mellett a kombinált szennyvíziszap-adagok befolyásoló hatását is kimutathatjuk. Jelen esetben a nehézfémeket (cinket és a krómot) ugyanis a szennyvíziszapok (lakossági és bányászati, ipari) tartalmazták az átlagosnál nagyobb mennyiségekben.

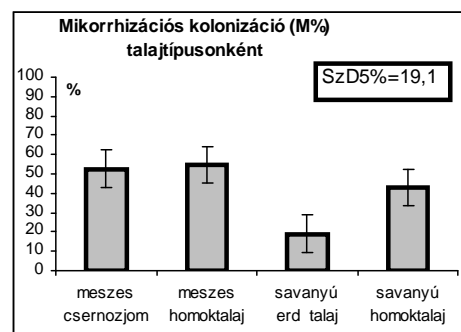
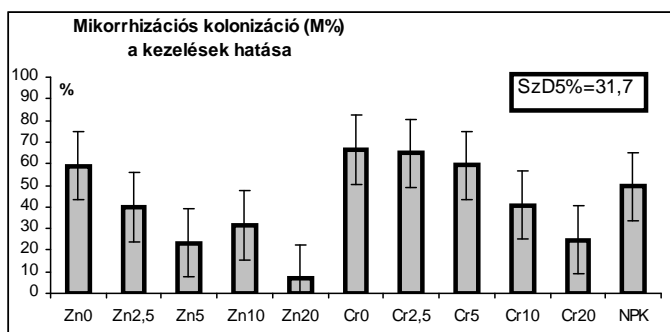
A különféle mikrobacsoportokra kapott eredményeket az **5. 6. és 7. ábrák** mutatják be.



5. ábra: Az élelmiszerbiztonság szempontjából kiemelt, enterális eredetű jelölő koliform csíraszám (telepkező egységek száma, logCFU) alakulása 1 g száraz talajra vonatkoztatva kommunális (Zn-tartalmú) és ipari (Cr-tartalmú) szennyvíziszap-adagok (0, 2.5, 5, 10 és 20 mg.kg⁻¹) és különböző talajok (meszes csernozjom és homok, savanyú erdő és homok) hatására tenyészedény-kísérletben (Budapest, 2006).



6. ábra: A heterotróf összcsíraszám (telepképz egységek száma, logCFU) alakulása 1 g száraz talajra vonatkoztatva kommunális (Zn-tartalmú) és ipari (Cr-tartalmú) szennyvíziszap-adagok (0, 2,5, 5, 10 és 20 mg.kg⁻¹) és különböző talajok (meszes csernozjom és homok, savanyú erd és homok) hatására tenyészedény-kísérletben (Budapest, 2006).



7. ábra: A mikorrhiza gombák infekciós intenzitása (M%) 1 g száraz talajra vonatkoztatva kommunális (Zn-tartalmú) és ipari (Cr-tartalmú) szennyvíziszap-adagok (0, 2,5, 5, 10 és 20 mg.kg⁻¹) és különböző talajok (meszes csernozjom és homok, savanyú erd és homok) hatására tenyészedény-kísérletben (Budapest, 2006).

A 2. fejezet eredményeinek összefoglalása:

A szennyvíziszapok növekvő adagjainak hatására, ezzel párhuzamosan szinte mindegyik vizsgált kitenyészthető mikróbatípus mennyisége, abundanciája növekedett. A módszer kevésbé érzékeny volta miatt ez a szám egyik szennyvíziszap esetében sem haladta meg a fél nagyságrendet. Az abundancia ilyen növekedését feltételezésünk szerint a szervesanyagokkal való fokozatos feldúsulás okozza. Ez a dúsulás a talajok fizikai-kémiai tulajdonságain keresztül, közvetve is növelheti a csíraszámokat.

Az élelmiszerbiztonság szempontjából kiemelt jelentőségű a koliformok száma a dózisok növelésével drámaian, lényegesen nagyobb nagyságrendben emelkedett (1,5-2 nagyságrend), ami már a kitenyészthetőség korlátait figyelembe véve is kiemelendő! Ezt a gyarapodást a szennyvíziszapok eredeti (enterális eredetű) patogén közössége okozhatta a kommunális iszap-típusnál, de lényeges szempont, hogy ugyanez a hatás enterális eredet nélkül a bányászati iszapnál is előfordult, ami szintén a közvetett hatások jelentőségére figyelmeztet. A talajban eredetileg jelenlévő kórokozók feldúsulását okozhatja a talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak a javulása. Említett tényt a szabadon élő, szoros *Rhizobium* baktériumoknál is kimutattuk. A feldúsuló patogén csíraszámot a talajok puffertartalma nem

tudta megfelelően ellensúlyozni, különösen igaz ez a savanyú barna erdő talaj esetében, ahol a csíraszám kétszer nagyobb, mint az átlagosan a többi vizsgált talajhoz viszonyítva.

A mikorrhizás kolonizáció mértéke jelentősen csökkent a szennyvíziszap-dózisok hatására, ezt okozhatja az adagokkal párhuzamosan a nehézfémek növekvő mértékű toxikus hatása (lásd elzáró, 1. fejezet) vagy a szerves tápanyagok felvehetőségének a javulása, esetleg a talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak a javulása is (közvetlen és közvetett hatások).

Az így kialakult szennyvíziszap- és nehézfém-hatásokat a vizsgált talajok típusa erősen befolyásolta. Kiemelendő, hogy a barna erdő talajban észlelt kiugróan magas koliform szám és ezzel egyidőben a legalacsonyabb mikorrhizás kolonizációs értékek.

3. A tartamhatású „természetes” stressz-tényezők talajfüggő hatása szikeseken

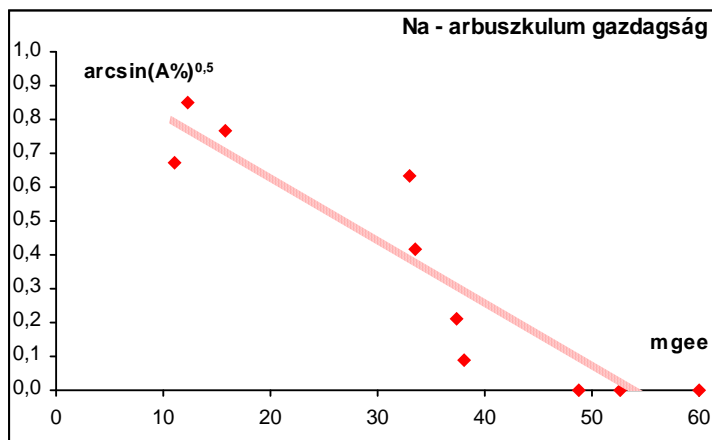
A környezeti stressz-tényezők kombinálódása a hasznos mikroszimbiontákra kifejtett káros, kedvezőtlen hatásokat is erősítheti. Természetes körülmények között tanulmányozva a szimbiota kolonizáció dinamikáját megérthetjük a növény-mikroba kölcsönkapcsolat alakulásának, kiváltásának (indukciójának) és azok működőképességének is az esetleges okait. A befolyásoló tényezők és a közöttük levő korrelációt a **8. ábrán** vesszük sorra.

n = 28 $R_{(0,05)} = 0,36$	talaj nedves- ségtartalma	agyag- tartalom	hygrosz- koposság	elektromos vezet- képesség	T-érték	Na	összes kation	pH	összes karbonát- tartalom	humusz- tartalom	mikorrhizás kolonizáció	arbuszkulum- gazdagság
Mikorrhizás kolonizáció	0	0	0	0	-	0	-	++	0	-	×	×
Arbuszkulum- gazdagság	0	0	0	0	0	-	-	+	0	0	×	×
heterotróf csíraszám	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mikrogomba száma	0	0	0	0	0	0	0	0	--	0	0	0
oligotróf csíraszám	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0

n = 10 $R_{(0,05)} = 0,63$	talaj nedves- ségtartalma	agyag- tartalom	hygrosz- koposság	elektromos vezet- képesség	T-érték	Na	összes kation	pH	összes karbonát- tartalom	humusz- tartalom	mikorrhizás kolonizáció	arbuszkulum- gazdagság
Mikorrhizás kolonizáció	0	0	-	--	-	--	--	+	0	-	×	×
Arbuszkulum- gazdagság	0	0	0	-	0	--	--	0	0	0	×	×
heterotróf csíraszám	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mikrogomba száma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oligotróf csíraszám	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8. ábra: A mikorrhiza gombák kolonizációja és arbuszkulum gazdagsága, a heterotróf a mikroszkópus gomba és az oligotróf csíraszám alakulása, valamint a talajok fizikai-kémiai tulajdonságai közötti összefüggések két hazai szikesen. Jelölések: 0: szignifikáns korreláció nincs, +,-: szignifikáns korreláció van ($p=95\%$), ++,--: erős korreláció van ($p=99\%$).

A szikes talaj legfontosabb, a szikesség mértékét és típusát leginkább jellemző talaj-fizikai és -kémiai tulajdonságai valamint a talajbiológiai adatsorok között összefüggések kimutatása céljából a talajtani és a talajmikrobiológiai tényezőket páronként lineáris regresszió-analízisnek vetettük alá. Ezzel célunk a talajéletet, a mikrobiológiai tulajdonságokat, különösen a hasznos mikroszimbionta gombákat (AMF) leginkább befolyásoló talajtulajdonságok feltárása volt. A 8. ábrán ennek eredményeit egy korrelációs mátrix mutatja két hazai mintaterületre vonatkoztatva. A **9. ábra** ebből az adatsorból kiemelve a Szikesedésnél leginkább ható nátrium (Na) ionokkal való negatív korrelációt emeli ki a mikorrhiza gomba működésének (A%) az alakulására.



9. ábra: A talaj Na-tartalma (mgeérték) és a növényi gyökér arbuszkulum-gazdagsága (A%) közötti negatív korreláció *Plantago maritima* gazdanövény esetében, négy hazai szikes mintaterületről származó minták vizsgálata alapján. A korreláció $p=0,01$ szinten szignifikáns!

A 3. fejezet eredményeinek összefoglalása:

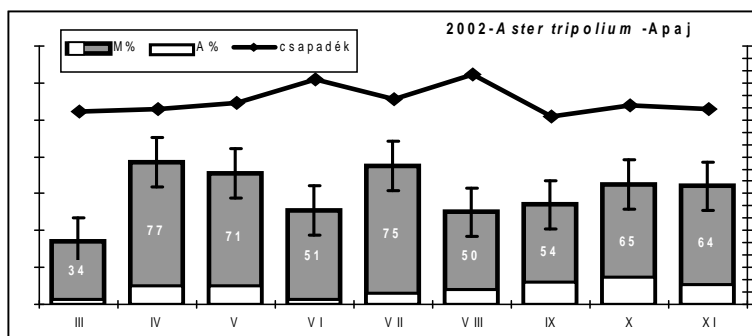
Az eredmények alapján viszonylag kevés talajfizikai tulajdonságról lehetett kimutatni a mikrobiótát befolyásoló hatásokat. Az állandó vízborítottság volt az egyik olyan tényező, ami az endomikorrhiza kolonizációt visszaszorította. A talaj nagyobb vízmegkötő képessége (higroszkóposság) a mikorrhizációs kolonizációt csökkentette, a kisebb szemcse-összetételű talaj is alacsonyabb kolonizációt eredményezett. Az 1%-nál magasabb higroszkóposságú rhizoszféra-mintákban mikorrhizás kolonizációt nem tudtunk kimutatni. A mikrobiális abundancia és a talajok agyagtartalmának negatív korrelációja egybeesett a szakirodalmi adatokkal, a három vizsgált mikrobacsoport közül azonban csak a kis tápanyagigényű, lassú szaporodású oligotróf baktériumközösségeknél lehetett a növekvő agyagtartalom negatív befolyásoló hatását kimutatni.

A többi talajtulajdonsághoz viszonyítva a talaj sótartalmát leíró mennyiségek (EC, kation tartalom, Na^+ koncentráció, T-érték) lényegesen több korrelációs összefüggést eredményeztek. Ezek a kivétel nélkül negatív hatások minden esetben a mikorrhizációval (M%, A%) függtek össze, a gyökerek arbuszkulum-gazdagságával (A%) csak a talaj sótartalmát leíró tulajdonságok mutattak összefüggést. A talaj nagy sótartalma és az általunk vizsgált baktérium- és mikrogomba-populációk abundanciája között összefüggést nem tudtunk kimutatni. A talaj kémhatása és a mikorrhizációs kolonizáció között ugyanakkor szoros pozitív korrelációt találtunk.

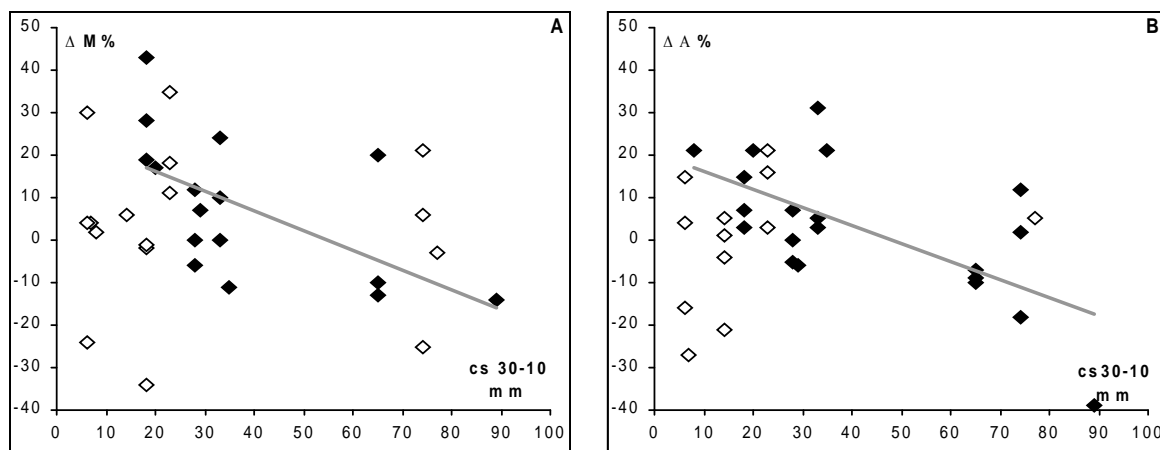
Korábbi vizsgálataink során *in vitro* körülmények között teszteltük a jelen kísérleti körülmények között is vizsgált néhány mikrobacsoportnak a sót r -képességet növekvő sókoncentrációjú táplémezeken. A bevont mintaterületeken ható viszonylag alacsony (0,1-0,4%) sókoncentrációk az onnan származó mikroba -törzsek szaporodását nem gátolták, annál lényegesen magasabb sómennyiségeket is képesek voltak elviselni, ami a fokozatos, lassú adaptációs lehet ségnek a „kedvez ” következményeként értékelhet .

4. A többszörös környezeti stressz hatása a mikrobiális kolonizáció alakulására

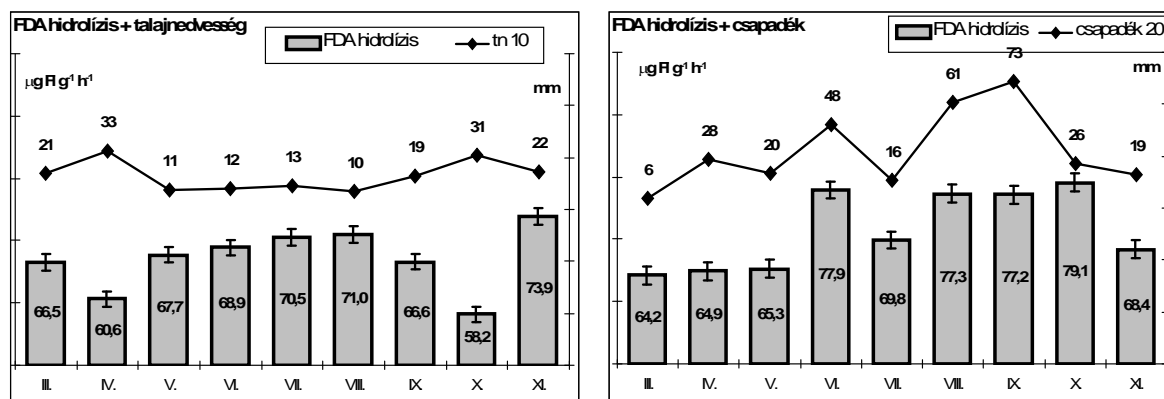
A szikes körülmények lehet vé teszik a sót r növények rendszeres mintázását is. Ennek megfelelő en jellegzetes, öt halofita növényt havonként mintáztunk két v egetációs id szak során. A kolonizációs mintázatot a **10. ábra**, a csapadékösszegekkel való korrelációs összefüggést pedig a **11. ábra** mutatja be.



10. ábra: A sziki szirózsa mikorrhiza kolonizációs értékei (M%, A%) egy vegetációs id szakban (márciustól novemberig), valamint a hullott csapadék mennyisége (a mintavételt megelőző 30. naptól a mintavétel előtti 10. napig). A kolonizációs értékek egytényezős variancia-analízisével kapott hibásávok a legkisebb szignifikáns differenciát jelzik.



11. ábra: A mikorrhizációs kolonizáció változása ($\square M\%$, $\square A\%$) és a csapadékmennyiség (cs_{30-10} – a mintavételt megelőző 30. naptól a mintavétel előtti 10. napig hullott csapadék) közötti korrelációs összefüggések: **A:** az M%-ra vonatkozó negatív korreláció az április-július adatsorra áll fenn ($n=24$, $R=-0,71$). **B:** az arbuszkulumokra ($A\%$) vonatkozó korreláció az április-augusztus adatsorra áll fenn ($n=20$, $R=-0,65$). A korreláció $p=0,01$ szinten szignifikáns.



12. ábra: Az általános talajbiológiai aktivitás alakulása az FDA (fluorescein-diacetát) hidrolízis alapján Zabszéken (bal ábra) és Apajpusztán (jobb ábra). A variancia-analízis átlagértékeit és a legkisebb szignifikáns differenciát is jelöltük. A grafikonok a talaj felső 10 cm-ének nedvességtartalmát valamint a mintavételt megelőző csapadék mennyiségét (20 nap összege) is jelzik (folyamatos vonallal). Kimutatható a hullott csapadékmennyiségeknek a talaj biológiai (FDA) aktivitásával való szoros korreláció, ami Apajpusztán pozitív, míg Zabszéken negatív összefüggést mutat.

A 4. fejezet eredményeinek összefoglalása:

Korrelációs vizsgálatokkal kimutattuk, hogy a mikorrhizáció kolonizációértékei és az elzetesen hullott csapadék-mennyiségek között szoros összefüggés van a tavaszi és a nyári időszakokban. A környezeti stressz fokozódásával, azaz további stressz-tényezőkkel való kombinációban azaz, az aszályos periódusok alatt a kolonizáció mértéke növekszik, a gazdanövények mikorrhizációs szimbiózisra való fogékonysága erősödik. Ezt a tényt osztott-gyökeres *in vitro* tenyésztéskísérletben is igazoltuk.

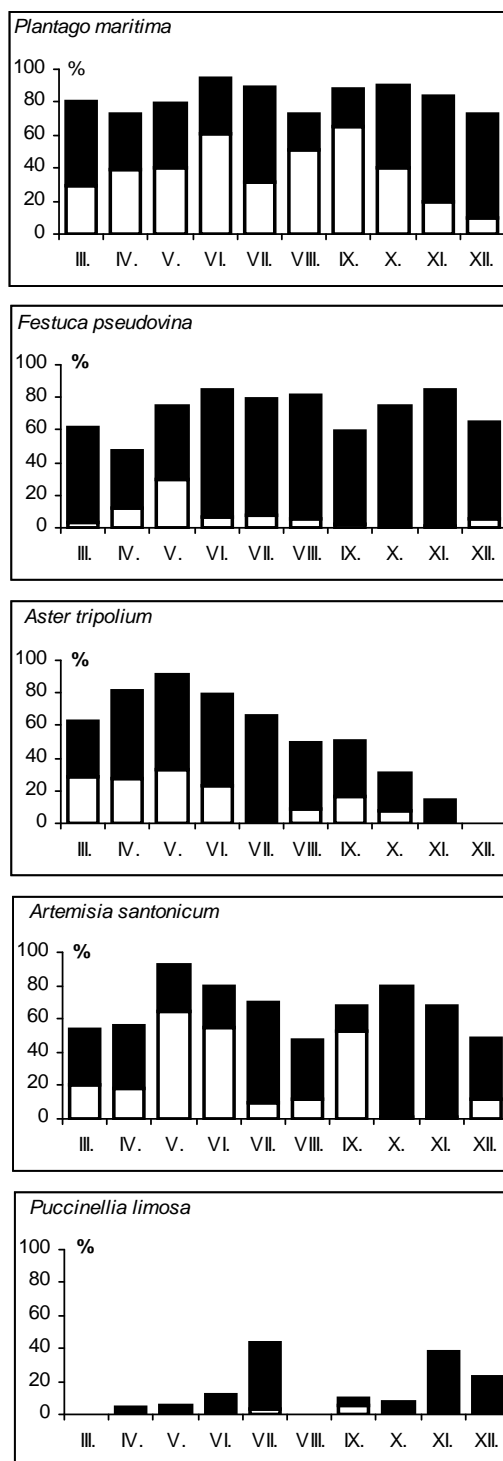
A talajéletet, az általános talajbiológiai aktivitást is leginkább a talaj vízháztartása befolyásolja, amit fluoreszcens diacetát (FDA) hidrolízis segítségével mutattunk ki. A vízháztartási szélsőségek negatív hatása jelentkezett a két szikes területen amelyek különböznek a talaj vízállapota alapján. Ennek a feltételezésnek megfelelően ezért, amíg Apajpusztán a szárazság a limitáló faktor, addig Zabszéken a talajnak a vízzel való telítettsége csökkenti az általunk vizsgált enzimaktivitási értékeket.

5. Gazdanövény és életkor szerinti kolonizációs mintázatok

A nehézfém-stressz tanulmányozásánál kimutattuk a gazdanövények közötti lényeges különbségeket a mikorrhizás szimbióta kolonizáció alakulására. Kérdés, hogy vajon hasonló növényi függőség egy másféle stressztényezőt (a sót és/vagy a szárazságot) a szikes területeken is igazolható-e? Milyen a hazai szikes területek legfontosabb, illetve legdominánsabb halofita növényeinek az arbuszkuláris mikorrhiza gombákkal szembeni fogékonysága? Tekintetbe véve a mikorrhiza gombák által kifejlesztett arbuszkulák a rövid (kb. 8 napig tartó) élettartamát befolyásolja-e a gazdanövény a szimbióta kolonizáció mértékét az élettani igény és/vagy a környezeti állapot alakulása szerint?

A szikes területek havonkénti mintázása lehetőséget adott a fenti kérdések vizsgálatára is. Az időbeli, temporális mintázatokat, az arbuszkuláris mikorrhiza gombák kolonizációs dinamikáját a **13. ábra** mutatja be. További kísérleti háttérben tenyésztéskísérletben a Zn tartalmú szennyvíziszapoknak a növényi életkor fiziológiai tulajdonságaira kifejtett hatását

quadropol tömegspektrometriás mérésekkel és a növényi gyökérrendszer mikrobiális tulajdonságainak a rendszeres mérésével vizsgáltuk (**14. ábra**).



13. ábra: Öt domináns sziki növény (*Plantago maritima*, *Festuca pseudovina*, *Aster tripolium*, *Artemisia sanctonicum* és *Puccinellia limosa*) mikorrhiza kolonizációs értékeinek alakulása Apajpusztán egy vegetációs id szak alatt, márciustól decemberig (M%: teljes oszlop magasság, A%: az oszlop fehér része).

Az eredmények összefoglalása:

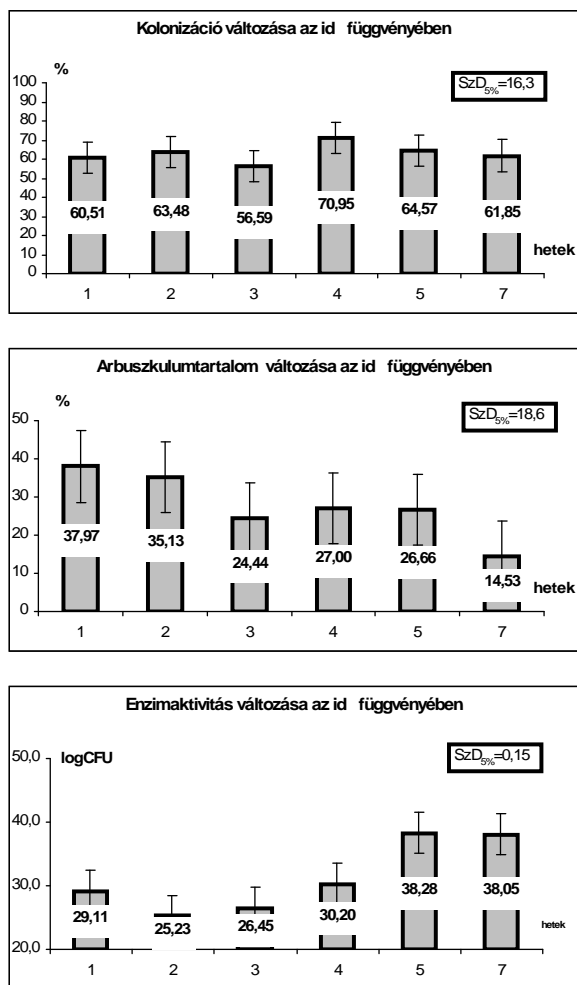
Plantago maritima gazdanövényénél a kolonizáció mértéke egész évben 80% körül illetve afölött van, lényeges változás inkább csak az arbuszkulumok mennyiségében van, egy nyár eleji, és egy szeptemberi csúcsértékkel, mindkett meghaladja a 60% -ot, ami aztán decemberig fokozatosan 10% alá csökken.

Hasonlóan magas kolonizációs értékeket mutat a *Festuca pseudovina* f faj is, még decemberben is 60% feletti a gyökérrendszer mikorrhizációja, de ehhez alacsony A% értékek tartoznak, csak májusban figyeltünk meg 20% feletti arbuszkulum gazdagságot.

A *Festuca pseudovina* f fajjal közös társulást alkotó *Artemisia santonicum*, sziki üröm éves dinamikájánál már az M% és az A% esetében is jellegzetes csúcsokat figyelhetünk meg.

Az eddigiekkel összevetve kifejezetten érdekes az alsóbb, nedvesebb helyeken él *Aster tripolium* (sziki szirózsa) mikorrhizációja a vegetációs periódus alatt: a kolonizáció mértéke a többi növényhez képest lényegesen nagyobb ingadozást mutatott: a 90% feletti maximumot decemberig monoton csökkenés követi, és a decemberi mintavétel alkalmával már nincsenek kolonizált gyökérdarabok.

A *Puccinellia limosa* gazdanövény kolonizációja bizonyult a legalacsonyabbnak, jelent sebb kolonizációt csak júniusban és novemberben lehet kimutatni, és jellemz az arbuszkulumok alacsony száma vagy teljes hiánya is.



14. ábra: A kukorica növényvel végzett tenyészedényes kísérlet mikrobiológiai tulajdonságainak alakulása sorrendben. a) a mikorrhizas kolonizáció intenzitása (M%), b) a gyökerek arbuszkulumentartalma (A%), és c) a talaj biológiai aktivitása (fluoreszens diacetát enzimaktivitás-mérés alapján).

A kísérletet el nevelt, 3-hetes kukoricánövényvel végeztük, a kísérlet kezdetére a mikroszimbionta kapcsolatok már kialakultak. Az ábra az életkor szerinti mintázatot jeleníti meg hetenkénti mintavételezéssel.

Az eredmények összefoglalása:

A mikorrhizas kolonizáció a vizsgált periódus alatt magas volt és szignifikánsan nem változott

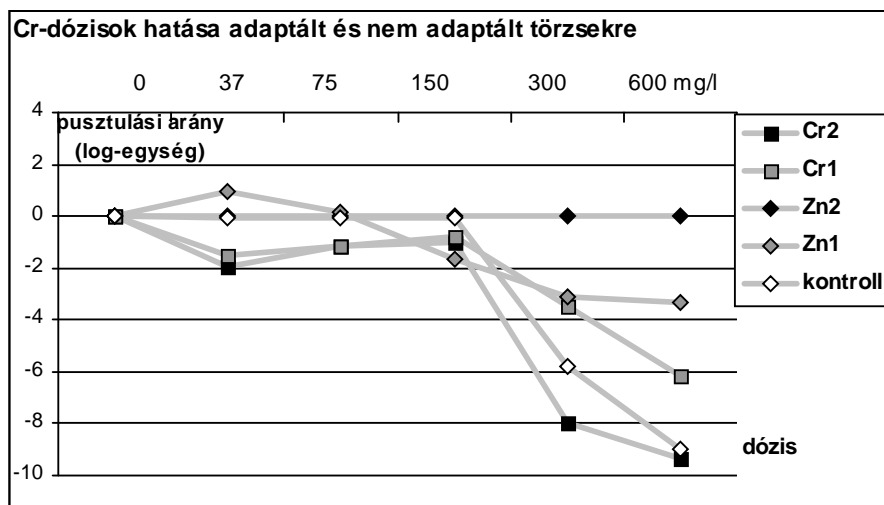
Az arbuszkulumok mennyisége a gyökérben csökken tendenciát mutat, a 7. hétre a különbség mértéke már szignifikáns, a növény a szimbiózis m köd képességét a reprodukív fázis után, annak „szükségtelemné, illetve gazdaságtalanná válásával párhuzamosan kezdi visszafejlesztetni. Ismert, hogy a gomba akár 20% növényi exudátumot is képes elhasználni.

A talajbiológiai aktivitás az 5. héttől szignifikánsan nagyobb lesz, az AM gomba m köd képességével ellentétben eltel. Az 5. és 7. héten tapasztalt 2-2,5-szer nagyobb értékek a talajban az életkorral elrehaladó tápanyag-szegénységgel lehetnek összefüggésben. A mikrobiális aktivitás fokozásával ugyanis a növény felvehet tápanyagokhoz jut. Ezt támasztja alá a quadrupol tömegspektrométerrel mért szén-dioxid produkció alakulása is, amely értékek az FDA enzimaktivitási értékekkel azonos mértékek. Ezáltal a nagyobb mikrobátömeg által termelt szén-dioxid hatására a gyökérkörnyezet pH-ja csökken, ami közvetetten is javítja a tápelemek oldhatóságát.

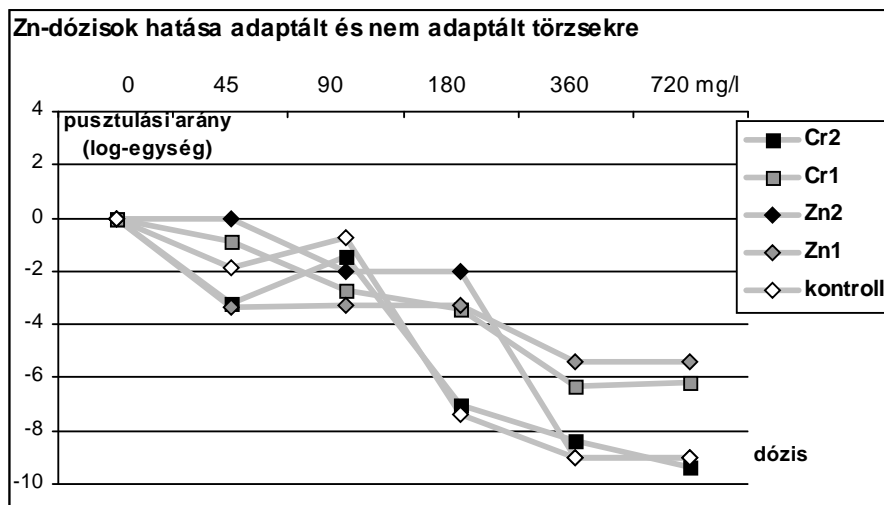
6. A lassú, fokozatos és a gyors, hirtelen stressz-hatásokhoz való adaptáció értékelése

Tenyészedényes kísérleti háttérrel lehet segítségünk adódott két nehézfém, a Cr és a Zn esetében, azok különböző dózisainak függvényében, a hasznos szimbiionta mikro-organizmusokra kifejtett környezeti stressz-hatások tanulmányozására. Ismert, hogy a stressz populációs szinten egy erős szelekciós tényező, de ha lehetőség van a lassú, fokozatos adaptációra, akkor az ilyen módon kiválasztódó, túlélő mikrobák toleránsabbak, és ezt a toleranciát akár a gazdanövényük felé is képesek átadni. A 15. és 16. ábrákon az ismételt nehézfém-terhelést kapott borsó növények gyökérrendszeréből izolált hasznos, nitrogénkört *Rhizobium* baktériumok szaporodását mutatjuk be, az adott talaj felvehető nehézfém-tartalmára

függvényében. A talajok évenként különböző dózisú kommunális (Zn) vagy bányai, ipari (Cr) nehézfém-terhelést kaptak. A *Rhizobium* izolátumokat a vizsgálat sorozat 2. (nem adaptált) és utolsó, 4. évében (adaptáltakat tekintve) nyertük, erre az időszakra a szokásos, lassú alkalmazás szerint a baktériumokat 8 és 16 évig tartó, de jelen esetben gyorsabb ütemben bekövetkező nehézfém-stressz éri.



15. ábra: Különböző nehézfém-dózisokhoz „adaptálódott”, a 4. évben izolált, és még „nem adaptálódott”, a 2. alkalmazási évben izolált *Rhizobium* baktériumok sejtszáma ($\log CFU \cdot ml^{-1}$) növekvő Cr-tartalmú folyékony táptalajban. Jelölések: Zn2, Cr2: törzsek nagy dózisú ($60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)-, Zn1, Cr1: törzsek közepes dózisú ($15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) szennyvíziszapot kapott talajokból.



16. ábra: Különböző nehézfém-dózisokhoz „adaptálódott”, a 4. évben izolált, és még „nem adaptálódott”, a 2. alkalmazási évben izolált *Rhizobium* baktériumok sejtszáma ($\log CFU \cdot ml^{-1}$) növekvő Zn-tartalmú folyékony táptalajban. Jelölések: Zn2, Cr2: törzsek nagy dózisú ($60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$)-, Zn1, Cr1: törzsek közepes dózisú ($15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) szennyvíziszapot kapott talajokból.

A 6. fejezet eredményeinek összefoglalása:

A nehézfém-mentes kontroll talajokban a gyökérgümö -baktériumok nehézfém- (Cr, Zn) érzékenysége igen tág határok között változott talajtípustól függetlenül, mindkét nehézfémre vonatkoztatva.

A Zn-tartalmú kommunális szennyvíziszap károsabbnak bizonyult a baktériumok szaporodására az ipari, bányászati, Cr-tartalmú szennyvíziszappal való összehasonlításban, annak ellenére, hogy a kommunális iszapok talajokra való alkalmazása elfogadott, az ipari iszapoknál pedig az ilyen célú alkalmazás nem engedélyezett.

A Zn-tartalmú iszapkezelést „hirtelen, rövid idő alatt” kapott talajból származó törzsek nehézfém-érzékenysége a tartamhatásban fokozódott, különösen a nagyobb, tehát toxikusabb szennyvíziszap-adagoknál. Ugyanez a tendencia a kevésbé káros Cr adagok hatására nem következett be.

Az izolált *Rhizobium* törzsek nehézfém-érzékenységének alakulására az alkalmazott talajtípusoknak, azaz a törzsek származási helyének nem volt hatása a kísérlet 4 éve alatt, a talajoknak az összetételüktől függő esetleges védő, stressz-toleráló hatása tehát a vizsgálati időszak alatt nem igazolódott.

A kísérletek alapján a rövid-távú, gyorsabb és a tartamhatású, lassúbb szennyvíziszap-(nehézfém)-kezeléseknek a nehézfém-adaptációra kifejtett, fémtípustól és dózistól függő hatásai jól elkülöníthetők voltak.

KONKLÚZIÓ

Az eredmények igazolták, hogy a növényi rhizoszférában zajló folyamatokat, azok típusától és a gazdanövénytől is függő módon a környezeti stressz-tényezők rövid- és tartós hatásai különböző mértékben befolyásolják.

A növény-mikroba kapcsolatok alakulására a környezeti adaptáció mértéke erős hatást gyakorol. Az adaptált, stressz-toleráns mikroszimbionták a gazdanövényük felé stressz-puffer tulajdonságúak lehetnek. A tartós környezeti stressz-körülmények hatására, vagy többszörös stressz kialakulásakor ezért a szimbionta baktériumok és gombák stressz-puffer szerepe és hasznossága is fokozódik.

Az adaptáció (vagy az érzékenyítés) kialakulásában a hatóidőnek és a stressz-hatás erősségének lényeges szerepe van.

A szimbiontás kolonizáció iránti igény ugyanakkor a gazdanövénytől is függ, de egyazon növény esetén annak életciklusa alatt is folyamatosan változik, a környezeti körülmények által befolyásolt élettani igények szerint is módosul.

A növényi rhizoszféra különböző mikrobiológiai tulajdonságai, de egyazon mikrobacsoport különböző mértékű paraméterei is önállóan, egymástól függetlenül befolyásolható tulajdonságok.

A környezeti stressz és a környezet(talaj)minőség indikálására bizonyos mikroorganizmusok a szimbiontákon kívül, a szabadon-élők között is alkalmasak lehetnek, azaz számuk és/vagy aktivitásuk jelzőértékű tulajdonság.

AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A hulladék-anyagoknak (alternatív szerves anyagoknak) a mezőgazdasági talajokon való biztonságos elhelyezéséhez szolgáltatunk adatokat. Hazai jellegzetes, tipikus talajok bevonásával kimutattuk a szennyvíziszap(nehézfém)-terhelésnek a talajfüggő lehetséges hatásait.

Európai szabványosítási folyamatban az élelmiszer-biztonság és élelmiszer-minőség érdekében a potenciális kórokozók kimutathatóságát, eliminációjuk lehetőségeit is vizsgáltuk. A talajok hiányzó szerves-anyag-tartalmát komposztokkal is kiegészíthetjük. A különböző adalékanyagokkal készített táp-komposzt készítési eljárását szabadalmaztattuk. A komposztoknak a talajtermékenység fokozása érdekében további alkalmazást jelenthet a mikrobiális oltóanyagokkal való dúsítás is.

A tartamhatásban fellép nehézfém- és egyéb környezeti stressz-tényezők hatásának az indukálására a mikroszimbiontás kolonizáció rendszeres vizsgálata, monitoringja javasolható. A mikroszimbionták a fenntartható mezőgazdaság és környezetminőség alkalmas eszközei és eredményesen járulnak hozzá az emberi életminőséghez.

AZ EREDMÉNYEKET BEMUTATÓ LEKTORÁLT, REFERÁLT KÖZLEMÉNYEK:

- BIRÓ B, POSTA K, FÜZY A, KÁDÁR I, NÉMETH T. (2005): Mycorrhizal functioning as part of the survival mechanisms of barley (*Hordeum vulgare* L.) at long-term heavy metal stress. *Acta Biol. Szegediensis*, 49: 65-68.
- PACSUTA P, KÖDÖBÖCZ L, BIRÓ B. (2005): Drought-driven response of fast and slow growing components of an adapted clover *Rhizobium* strain. *Acta Biol. Szegediensis*, 49: 167-170.
- VIVAS A., BIRÓ B., RUÍZ-LOZANO JM, BAREA JM, AZCÓN R. (2006): Two bacterial strains isolated from a Zn-polluted soil enhance plant growth and mycorrhizal efficiency under Zn-toxicity. *Chemosphere*, 62: 1523-1533.
- VIVAS, A., BIRÓ, B., NÉMETH T., J.M., BAREA, J.M, AZCÓN, R. 2006. Nickel-tolerant *Brevibacillus brevis* and arbuscular mycorrhizal fungus can reduce metal acquisition and nickel toxicity effects in plant growing in nickel supplemented soil. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2694-2704.
- VIVAS A., BAREA J.M., BIRÓ, B., AZCÓN R. 2006 Effectiveness of autochthonous bacterium and mycorrhizal fungus on *Trifolium* growth, symbiotic development and soil enzymatic activities in Zn contaminated soil. *J. Appl. Microbiol.* 100: 587-598.
- SIMON L., TAMÁS J., KOVÁCS E., KOVÁCS B., BIRÓ B. (2006): Stabilisation of metals in mine spoil with amendments and growth of red fescue in symbiosis with mycorrhizal fungi. *Plant Soil Environment*, 52: 385-391.
- FÜZY A, TÓTH T, BIRÓ B. (2006): Seasonal dynamics of mycorrhiza (AMF) colonization in the rhizosphere of some dominant halophytes. *Agrokémia Talajtan*, 56: 231-240.
- NAÁR Z, BIRÓ B. (2006): Species composition of indigenous *Trichoderma* fungi affected by Cd, Ni and Zn heavy metals in calcareous chernozem soil. *Agrokémia Talajtan*, 56: 261-270.
- POSTA K., FÜZY A, BIRÓ B. (2006): Mycorrhizal colonisation of clover after 12 years of metal adaptation in a calcareous chernozem soil. *Bullet. Szent Istvan University*, p. 81-88.
- SIMON L., BIRÓ B., SZÉLES É., BALÁZSY S. (2007): Szelénrel szennyezett talajok fitoextrakciója, mikrobacsoportok a szennyezett talajokban. *Agrokémia, Talajtan*, 56: 161-172.
- BIRÓ B, PACSUTA P, SIMON L. (2007): Sensitive or tolerant adaptation of *Rhizobium* bacteria as a function of the short and long-term loads of the Zn metal salt. *Cereal Res. Commun.* 35: 261-265.
- KÖDÖBÖCZ L., BIRÓ B., BAYOUMI H.E.A.F., KECSKÉS M. (2007): Activation of native *Rhizobium* population with composted and digested wastes on two alfalfa varieties. *Cereal Res. Commun.* 35: 657-661.
- FÜZY A, TÓTH T, BIRÓ B. (2007): Mycorrhizal colonisation can be altered by the direct and indirect effect of drought and salt in a split root experiment. *Cereal Res. Commun.* 35: 401-404.
- MAKÁDI M., TOMÓCSIK A., OROSZ V., BOGDÁNYI Zs., BIRÓ B. (2007): Effect of a biogas-digestate on some microbiological properties of the amended soils. *Cereal Res. Commun.* 35: 741-745.
- BIRÓ B. (2007): A komposztfelhasználás optimalizálása mikrobiológiai vizsgálatokkal. A Dunaújvárosi F iskola közleményi, 29(1): 161-168.
- BIRÓ B, BIRÓ ZS, RADICS L, NÉMETH T, MONORI I. (2007): Fejes saláta elemfelvétele és minősége juhtrágya alapú komposztok hatására. *Kertgazdaság*, 39(3): 38-45.
- FÜZY A, BIRÓ B, TÓTH T, HILDEBRANDT J, BOTHE H (2007): Drought, but not salinity determines the apparent effectiveness of halophytes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Physiology*. (megjelenés alatt)
- MAKÁDI M, TOMÓCSIK A, OROSZ V, LENGYEL J, BIRÓ B, MÁRTON Á (2007): Biogázüzemi fermentlé és Phylazonit MC baktériumtrágya hatása a silókukorica zöldtömegére és a talaj biológiai aktivitására. *Agrokémia és Talajtan*, 56(2): 367-388.